

SZOTE Központi Laboratórium Számítástechnikai Központ

Sejtautomaták alkalmazása a diszkrét rendszerek szimulálására

Almási József

A sejtautomata gondolata Neumann Jánostól származik. Lényege, azonos elemi automatákat nagy számban azonos mintázat szerint kapcsolunk össze. Az így összekapcsolt automaták alkotják a sejttérét.

Egy véges (A, a_0, f) automatát sejtnak nevezünk, ha teljesülnek a következők:

1. A : tetszőleges adott véges halmaz, elemei sejtállapotok
2. a_0 : kitüntetett sejtállapot (un. nyugalmi állapot)
3. f : az automata (lokális) átmeneti függvénye.

A n elemű részhalmazait A -ba képezi le, és $f(a_0, \dots, a_0) = a_0$. Bármely sejthez hozzárendelhetünk további n sejtet, ezek lesznek a sejt szomszédai.

Legyen I a természetes számok halmaza. Az $I \times I$ halmazt sejttérnek nevezzük. A $G: I \times I \rightarrow 2^{I \times I}$ -re

$$G(\alpha) = \{ \alpha + \sigma_1, \dots, \alpha + \sigma_n \}, \text{ ahol}$$

$\sigma_i \in I \times I \rightarrow (i = 1, \dots, n)$ rögzített, szomszédsági függvénynek nevezzük.

Az $I \times I$ halmaz minden A -ba való olyan φ leképezését,elynél a halmaz csak véges számú elemére igaz $\varphi(\alpha) \neq a_0$ $\alpha \in I \times I$ konfigurációnak nevezzük.

A sejttér globális átmenet függvénye az a függvény, amely a sejttér összes konfigurációjának halmazát önmagába képezi le. Átme-

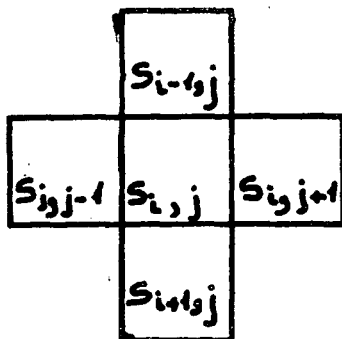
netnek nevezzük azt, hogy a sejt felveszi azt a saját és szomszédai pillanatnyi állapotának megfelelő új állapotot, amelyet számára az átmenet függvénye előír. A sejttérben minden sejt egyszerre működik. Ez a párhuzamos működés teszi alkalmassá a sejttérre olyan diszkrét, homogén és inhomogén modellek vizsgálatára, melyekben lokális változások a szignifikánsak és párhuzamos működésűek. A sejttérben kizárólag software munkával bonyolult rendszerek, számítógép műveleti egységek, hatásközvetítő pályák, biológiai sejtek modelljei stb. alakíthatók ki.

A sejttér Turing-i értelemben univerzális (programozható). Univerzalitásából következik, hogy önreprodukálásra képes. Így lehetőség nyílik biológiai kutatásokban való felhasználásra, pl. sejtek, baktériumok stb. fejlődésének vizsgálatára. A párhuzamos működés lehetővé teszi, hogy egyszerre vizsgálhassuk különböző rendszerek (pl.: sejttelepek, hatásközvetítő pályák stb.) viselkedését ugyanazon közegben.

A sejttér párhuzamos működése és egyszerű alapelemekből való felépíthetősége igen sokrétű alkalmazást tesz lehetővé. Ezek közül néhány: elkészült a sejtautomata elven működő ILLIAC IV számítógép, több kutató foglalkozott a sejtautomata számítógépként, számítástechnikai rendszer részeként való alkalmazásával (Toffoli, Fay, Legendi). A sejtek önreprodukáló önszervező képességét vizsgálták (Codd, Neumann), fibrilláció tüneteit modellezték (Swain, Burks).

A sejtautomaták működésének vizsgálatához jelenleg leghatékonyabb eszköz a digitális számítógépen végzett szimuláció. Ma már több sejtautomata szimulációs nyelvprocesszor is működik, pl. SICELA (10), CELIA (9), CELLAS (7), INTERCELLAS stb. Sejtautomaták interaktív üzemmódu szimulációjához fejlesztettük ki az MTA Logikai és Automataelméleti Tanszéki Kutató Csoportjával együttműködve az INTERCELIAS sejtautomata szimulációs nyelvprocesszort a CII-10010-es számítógépre. A nyelv tervezésekor egy interaktív szimulációs eszköz biztosítása, tapasztalatszerzés sejttérszimulációs nyelvek készítéséhez volt a cél. Figyelembe kellett venni, hogy a számítógép tárkapacitása kicsi (16 K szó), ezért az egész sejttérre diszken tároljuk (négyzetes mátrix alakban). Átmenet számításához a sejttér három aktuális sorát hozzuk be a

tárba. A sok diszkhez fordulás jelentősen lassítja a program futását, ezért figyeljük, hogy melyik sorban lehet billénés (átmenet), és csak ezt a sort és a szomszédait hozzuk be a memóriába. A program futás további gyorsítását célozza, hogy az aktuális sor feldolgozásakor kizárólag azokra a sejtekre számítjuk ki az átmenetet, amelyek nyíltak. (Egy sejt nyílt, ha önmaga, vagy valamelyik szomszédja az előző átmenet számításakor megváltoztatta az állapotát, ellenkező esetben zárt.) A szimulált sejtter maximális mérete 64×64 . Az egyes sejtek 0-7 állapotokat vehetnek fel. A szomszédság kötött. Az $s_{i,j}$ szomszédjai:



1. ábra
Szomszédsági minta

A processzor alkalmas inhomogén sejtterek szimulálására is. 5 különböző átmeneti függvény adható meg. Az átmeneti függvények tetszőleges módon hozzárendelhetők egy-egy sejthez. (Szimuláció során ez a hozzárendelés tetszőlegesen módosítható.) Az átmeneti függvényeket táblázatukkal kell megadni. Lehetőség van rá, hogy az egyes átmeneti függvénytáblákból különböző módon keressük vissza az átmenethez szükséges értéket.

A sejtter inputját megadhatjuk úgy, hogy minden átmenet előtt megadjuk a bábsejtek állapotát (bábsejtek a sejtteret keretező sejtek), vagy beolvassuk a kész konfigurációt, vagy konfigurációépítő utasítással elkészítjük a kívánt konfigurációt. (Lehetőség van sejtterben kialakult konfigurációk lyukszalagra mentésére is.) A sejtter outputját a megjelenítő utasításokkal vezéreljük. Meg lehet adni, hogy a szimuláció során mely átmeneti lépéseket akarjuk megjeleníteni sornyomta-

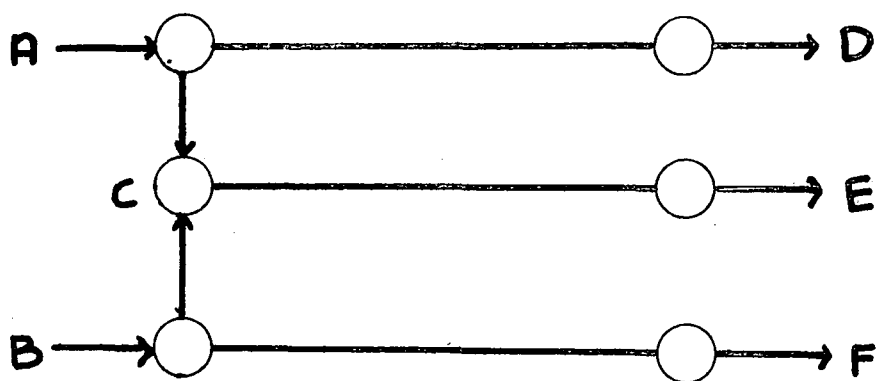
tón, és azt, hogy az egyes állapotoknak mely karakterek felelnek meg. A sejtter méretét a dimenzionáló utasítással a maximális határokon belül tetszőlegesen változtathatjuk. Lehetőség van még az input periféria kijelölésére (konzol, lyukszalag), comment írására, az aktuális sejtter törlésére, a szimulátor alapállapotba helyezésére és a szimuláció befejezésére. Az INTERCELLAS-szal végzett szimulációk célja a sejtautomaták működésének megismerése, sejtterprogramozásban való gyakorlat szerzés, a sejtautomaták hardware megvalósításához tapasztalatszerzés, a kétállapotu sejtterek átmeneti függvényeinek vizsgálata (invertálhatóság, önreprodukciós tulajdonságok), a sejtautomaták biológiai rendszerek modellezésére való felhasználhatósága, számítástechnikai rendszerben való alkalmazhatóság. Vizsgálatainkat kétállapotu, kétdimenziós sejtterben, rögzített szomszédság (a sejt+a kétdimenziós rács négy szomszédos pontjában lévő sejt) mellett végeztük.

A sejtautomaták működését alapvetően átmeneti függvényük határozza meg. Ezért nagy hangsúlyt fektetünk vizsgálatukra. Az átmeneti függvényt táblázatával adtuk meg. A táblázat elemeit változtatva figyeltük, hogy az egyes konfigurációk hogyan viselkednek az adott átmeneti függvény által biztosított környezetben. A tapasztalat azt mutatja, hogy a táblázat kis módosítása már jelentősen megváltoztatja a sejtter tulajdonságait. Pl. egy önreprodukáló tulajdonsággal rendelkező függvény táblázatában elég egyetlen elem megváltoztatása, és megszűnik az önreprodukciós tulajdonsága. Találtunk olyan átmeneti függvényt, melyben bizonyos konfigurációk reprodukálódtak, míg mások nem. Végeztünk olyan szimulációt, melyekkel a szaporító és fogyasztó tulajdonságokat vizsgáltuk. Voltak olyan függvények, melyekkel a behelyezett konfiguráció szinte robbanásszerűen szaporodni, növekedni kezdett, és rövidesen kitöltötte a szimulációs térrészt. Ha a szaporító függvényt kicseréltük fogyasztó függvényre, azt tapasztaltuk, hogy a kialakult konfiguráció bizonyos függvényekkel szemben ellenállóbb volt, míg mások néhány átmenet alatt kiirtották. Vizsgáltunk olyan átmeneti függvényt, mely hatására a sejtter hullámterjesztési tulajdonságokat mutatott.

Önreprodukáló tulajdonságú függvények (paritás, Franklin függvény) esetén az összes behelyezett konfiguráció reprodukálódott 2 egész

hatványainak megfelelő számú lépésekben, a közbeeső lépésekben igen bonyolult alakzatok jöttek létre. Ha a konfiguráció eléri a sejttér szélét, onnan mintegy "visszaverődik" és a kiinduló konfiguráció tükörképe jön létre. Ha két különböző konfigurációt helyeztünk el a térben, akkor mindkettő reprodukálódott, azonban nagyobb lépésszám esetén az egyik konfiguráció több utóda maradt meg a sejttérben, mint a másiknak. Nem összefüggő konfigurációk összefüggő tulajdonságot mutatnak.

A sejttér számítástechnikai és biológiai modellezésre való felhasználhatósági vizsgálatoknál olyan alapkongfigurációk kialakítására törekedtünk, amelyekből a későbbiekben "építkezni" lehet a sejttérben, azaz bonyolultabb rendszerek tervezésénél, építésénél felhasználhatók. Pl: Számítástechnikai modellben való felhasználáshoz bináris összeadót tervezünk. Biológiai modellekhez, receptorokat, ingerközvetítő, továbbító pályákat (jelutakat) alakítottunk ki. Ezekből felépítettük pl: következő egyszerű idegháló modellt:



2. ábra

Egyszerű idegháló modell

Működése a következő: Az ingerre D kimenet feltétlen reflexet vált ki, B ingerre F kimenet feltétlen reflexet vált ki. Ha A és B egyidejűleg aktív, C is aktivizálódik és E kimenet feltételes reflexet vált ki.

A tapasztalatokat összegezve megállapíthatjuk, hogy az átmeneti függvény megfelelő választásával a sejttér tulajdonságai rugalmasan változtathatók. Már egész egyszerű konfigurációk is igen bonyolult tulajdonsággal rendelkeznek a sejttérben. Néhány ötletet

szeretnénk adni a továbbiakban a sejtautomaták felhasználására.

Két vagy több baktériumtörzs szaporodását szimulálhatjuk egyidejűleg ugyanazon közegben. Egy baktériumtörzs fejlődését vizsgálhatjuk egy közegben, majd ezt a közeget kisebb nagyobb mértékben változtatva láthatjuk, hogy a kialakult konfiguráció hogyan viselkedik a megváltozott környezetben. A szimuláció laboratóriumi kísérletekhez nyújthat segítséget, az egyes kísérleteket modellezve, gyorsabb és nagyobb számú modell kísérletet elvégezve további intuiciót lehet nyerni a laboratóriumi kísérletekhez. Biológiai sejt, sejtek, sejtcsoportok modelljeit sejttérben elhelyezve vizsgálhatjuk növekedésüket, szaporodásukat, különböző sejteket elhelyezve tanulmányozhatjuk kölcsönhatásukat. Populációs modellek tanulmányozására is használhatjuk a sejttérrel (pl.: E. Franklin modell: születik vagy tovább él egy sejt, ha a szomszédok száma páratlan, meghal, vagy üres marad, ha a szomszédok száma páros. Ez a modell önreprodukciós tulajdonsággal rendelkezik.)

A függelékben bemutatunk több szimulációs eredményt.

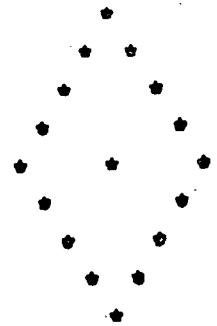
1. Hullámterjedés sejttérben.
2. Egyszerű konfigurációs viselkedése szaporító tulajdonságú átmeneti függvény esetén, majd az átmeneti függvényt kicserélve fogyasztó tulajdonságú függvényre, vizsgáljuk a kialakult konfiguráció viselkedését a térben.
3. A paritás függvénnyel és nem összefüggő konfigurációval.
4. A fentiekben leírt egyszerű idegmodell működése.

További kutatási céljaink: A sejtautomaták alkalmazhatósága számítástechnikai rendszerekben. Sejtautomata megvalósítása hardware szinten. Biológiai modellek készítése sejttérben. Egy interaktív sejttérszimulátor elkészítése R-10 számítógépre.

Függelék

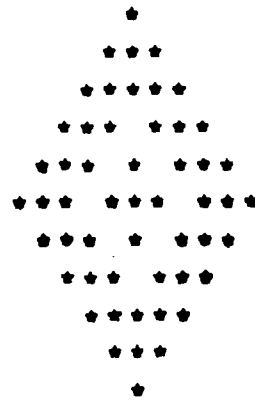
4 1 1 34 34

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34



5 1 1 34 34

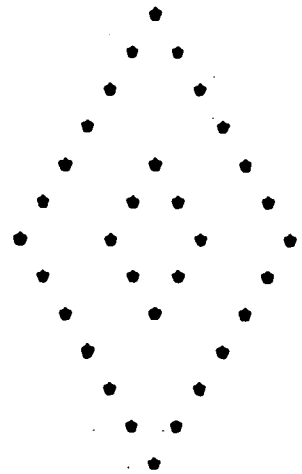
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34



1b.

0 1 2 3 4 5

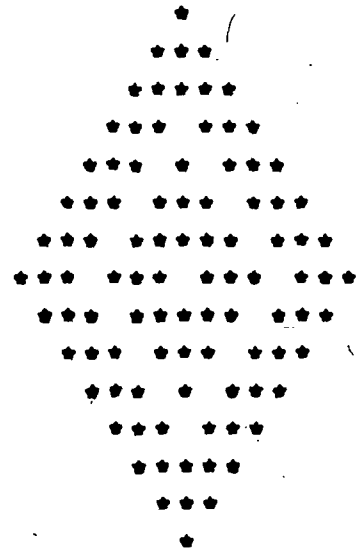
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34



lc.

7 1 1 34 34

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34



1d.

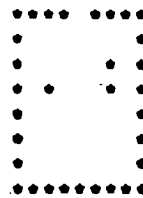
[illegible]

9 1 1 10 10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
10 1 1 10 10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11 1 1 10 10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
12 1 1 10 10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
00 4 2
13 1 1 10 10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
14 1 1 10 10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

0 1 1 60 64

- 342 -

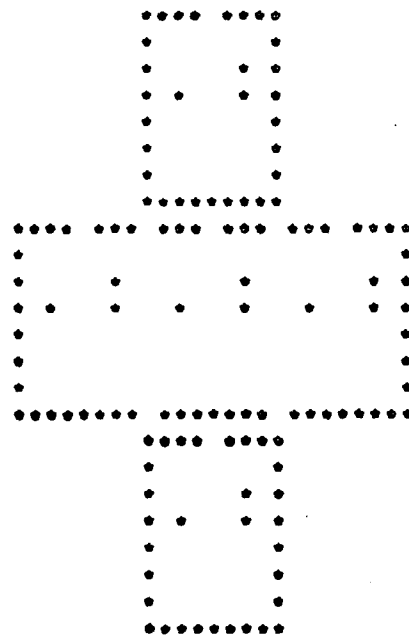
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
PRES
0 0 2
00
32 2



3a.

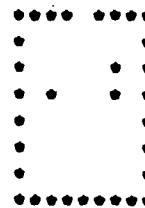
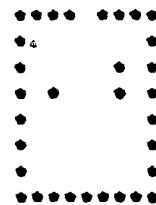
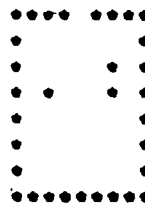
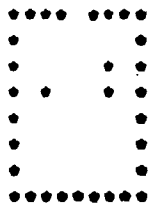
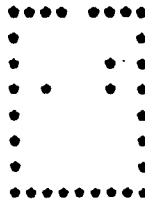
1 1 1 60 54

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60



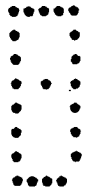
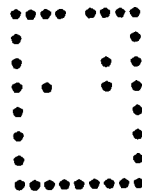
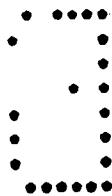
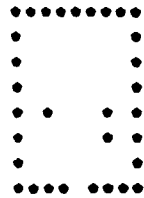
16 1 1 6A 64

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60



32 1 1 6A 64

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60



KFKI

1 1 6A 64

COMM
ONREPRODUCIJS SZIMULACIO PARITAS FV-EL
STOP

3d.

```
1 1 1 20 24
1
2 .....
3 .....
4 .
5 .... .....
6 .... .....
7 .... .....
8 .... .....
9 .... .....
10 . .....
11 ..
12 .. .....
13 .. .....
14 .. .....
15 .. .....
16 ..
17 .....
18 .....
19 .....
20
PRES
2 1 0
00
4 2
4 1 1 24 24
1
2 .....
3 .....
4 .
5 .... .....
6 .... .....
7 .... .....
8 .... .....
9 .... .....
10 . .....
11 ...
12 .. .....
13 .. .....
14 .. .....
15 .. .....
16 ..
17 .....
18 .....
19 .....
20
5 1 1 20 24
1
2 .....
3 .....
4 .
5 .... .....
6 .... .....
7 .... .....
8 .... .....
9 .... .....
10 .....
11 ..
12 ... .....
13 .. .....
14 .. .....
15 .. .....
16 ..
17 .....
18 .....
19 .....
20
KONF
```

4a.

```
4 2 4 2 1
PRES
6 1 0
00
6 2
PRES
8 0 -1
11 1 1 20 24
1
2 .....
3 .....
4 .
5 .... .....
6 .... .....
7 .... .....
8 .... .....
9 .... .....
10 .....
11 ..
12 .. .....
13 .. .....
14 .. .....
15 .. .....
16 ..
17 .....
18 .....
19 .....
20
KONF
10 2 14 2 1
PRES
2 1 0
00
4 2
14 1 1 20 24
1
2 .....
3 .....
4 .
5 .... .....
6 .... .....
7 .... .....
8 .... .....
9 .... .....
10 .....
11 ...
12 .. .....
13 .. .....
14 .. .....
15 .. .....
16 ..
17 .....
18 .....
19 .....
20
```

4b.

```

4      2
21     1      1  20  24
1
2      .....
3      .....
4      .....
5      .....
6      .....
7      .....
8      .....
9      .....
10     .....
11     ..
12     .. .....
13     .. .....
14     .. .....
15     .. .....
16     .. .....
17
18     .....
19     .....
20
PRES
3      1
00
4      2
25     1      1  20  24
1
2      .....
3      .....
4      .....
5      .....
6      .....
7      .....
8      .....
9      .....
10     .....
11     ..
12     .. .....
13     .. .....
14     .. .....
15     .. .....
16     .. .....
17
18     .....
19     .....
20
STOP

```

Irodalom

- (1) Arthur W. Burks: Cellular automata and natural systems, Kybernetik und Bionik 190-204, 1974.
- (2) Drommerné Takács Viola: Jelentés és javaslat a sejtautomata témáról, KGM ISZSZI kutatási jelentés, 1973.
- (3) Drommerné Takács Viola: Sejtautomata mint új számítástechnikai eszköz, KGM ISZSZI, kutatási jelentés, 1974.
- (4) Fay-Drommerné-Máthé: A sejtautomatákról, KGM ISZSZI, kutatási jelentés, 1973.
- (5) Circuit realization of Codd's Cellular Automaton's cell, Technical Report, KGM ISZSZI, 1973.
- (6) Manfred Peschel: Kibernetikai rendszerek, Műszaki Könyvkiadó, 129-138, 1973.
- (7) Legendi Tamás: Sejtautomaták szimulációja, a CELLAS nyelv "Szimuláció az orvosi, műszaki és közgazdasági tudományokban" konferencia, Pécs, 1975.
- (8) Tomaso Toffoli: On the large-scale implementation of cellular spaces by means of integrated circuit arrays, CNR Istituto per le Applicazioni del calcolo, 1972.
- (9) Gabor T. Hermann: CELIA, user manual
- (10) Vollmar, R.: Über einen Interpretiere zur Simulation, Zellularen Automaten, Angewandte Informatik 6. 249-256, 1973.
- (11) Reshodko, L.V., Bures, J.: Computer Simulation of Reverberating Spreading Depression in a Network of Cell Automata, Biol. Cybernetics 18. 181-189, 1975.